



F1391

特願平2002-65079号 (2)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-87635

(43)公開日 平成5年(1993)4月6日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 J 3/18		8707-2G		
1/02	Q	7381-2G		
1/04	A	7381-2G		
		8422-4M	H 0 1 L 31/ 10	Z
		8426-5K	H 0 4 B 9/ 00	W

審査請求 未請求 請求項の数27(全 25 頁) 最終頁に続く

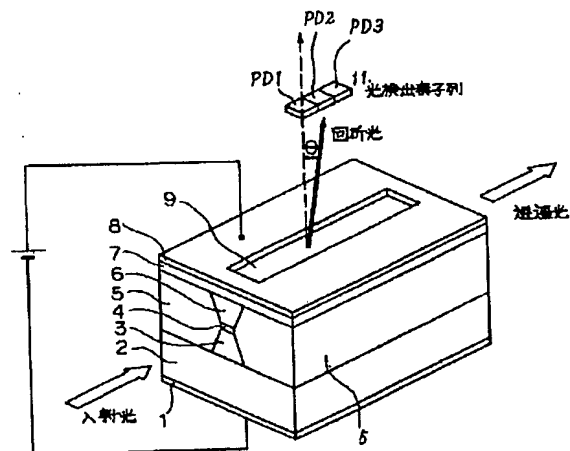
(21)出願番号	特願平4-18185	(71)出願人	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22)出願日	平成4年(1992)1月4日	(72)発明者	関口 芳信 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ ノン株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平3-13903	(74)代理人	弁理士 加藤 一男
(32)優先日	平3(1991)1月12日		
(33)優先権主張国	日本(J P)		
(31)優先権主張番号	特願平3-13904		
(32)優先日	平3(1991)1月12日		
(33)優先権主張国	日本(J P)		
(31)優先権主張番号	特願平3-13905		
(32)優先日	平3(1991)1月12日		
(33)優先権主張国	日本(J P)		

(54)【発明の名称】 回折格子を有する光検出装置

(57)【要約】

【目的】波長トラッキング機能やモニター機能などを有する回折格子を持つ光検出装置である。

【構成】回折格子が半導体光導波層4を含む光導波路に形成され、この光導波路の外部に出射される回折光は複数部分から成る光検出素子列11で受光される。光導波路に入射する光の波長変動による回折光の出射角の変化はこの光検出素子列11で検出され、この検出情報に基づいて光導波路に注入される電流が制御されて光導波路のブラッグ波長が調整される。これで、回折光が常に光検出素子列11の特定部分に入射する様にされて、波長トラッキングを行ないつつ光検出が行なわれる。この検出情報は、半導体レーザなど他のものの制御にも用いられる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光が入力される半導体光導波路と、該導波路に形成された回折格子と、該導波路に電流を注入するかまたは電圧を印加する為の電極と、該導波路の外部に射出される回折光を検出する為の複数部分から成る光検出手段とを有することを特徴とする光検出装置。

【請求項2】 前記光検出手段は、複数の光検出素子から成る光検出素子列である請求項1記載の光検出装置。

【請求項3】 前記導波路と光検出手段の間に、外部に射出される回折光の該導波路を横切る方向の集光を行なう為の集光手段が配置されている請求項1記載の光検出装置。

【請求項4】 前記集光手段はシリンドリカルレンズである請求項3記載の光検出装置。

【請求項5】 前記導波路において、前記回折格子が形成された領域から光波長以内の距離に、少なくとも1層の厚さがドブロイ波長以下の量子井戸が形成されている請求項1記載の光検出装置。

【請求項6】 前記回折格子が形成された領域から光波長以内の距離の前記導波路の部分に、少なくとも2層の量子井戸とその間の障壁層を含む層が形成され、該障壁層は、該導波路に印加する電圧の変化によって、量子井戸間の結合状態を変化可能な厚さ、ポテンシャル形状に形成されている請求項1記載の光検出装置。

【請求項7】 前記量子井戸がp型及びn型の一方の導電型に形成され、該障壁層が高低抗層で形成されている請求項6記載の光検出装置。

【請求項8】 前記障壁層が短周期の超格子で形成されている請求項6記載の光検出装置。

【請求項9】 前記障壁層のポテンシャルがフラットバンド状態で傾斜している様に形成されている請求項6記載の光検出装置。

【請求項10】 前記量子井戸が  $Al_xGa_{1-x}As$ 、前記障壁層が  $Al_yGa_{1-y}As$  ( $0 \leq x < y \leq 1$ ) で形成され、そして該障壁層の厚さが3nm以上、15nm以下である請求項6記載の光検出装置。

【請求項11】 前記導波路の一部に、電流注入により入射光を増幅する少なくとも1個の光増幅部を更に有する請求項1記載の光検出装置。

【請求項12】 前記光増幅部は、前記回折格子が形成された導波路の部分の光入射側に設けられている請求項11記載の光検出装置。

【請求項13】 前記光増幅部は、前記回折格子が形成された導波路の部分を含んで、光入射側と光透過側に設けられている請求項11記載の光検出装置。

【請求項14】 前記光検出手段が、前記導波路方向に短かい受光面を持つ光検出部と、同方向に長い受光面を持つ光検出部で構成されている請求項1記載の光検出装置。

【請求項15】 前記導波路方向に短かい受光面を持つ光

検出部と、同方向に長い受光面を持つ光検出部とが、該導波路方向に、実質的に連続的に配列されている請求項14記載の光検出装置。

【請求項16】 前記導波路方向に短かい受光面を持つ光検出部と、同方向に長い受光面を持つ光検出部とが、該導波路方向に、分離して配列されている請求項14記載の光検出装置。

【請求項17】 前記光検出手段の複数部分が、前記導波路に沿う方向に複数列配置されており、且つ該導波路方向において、それら複数列の受光面が総合的に見て連続している請求項1記載の光検出装置。

【請求項18】 前記光検出手段の複数部分が、前記導波路に沿う方向に、千鳥に配置されている請求項17記載の光検出装置。

【請求項19】 更に半導体レーザを有し、前記回折格子が形成された導波路は、該半導体レーザの光軸上に設けられ、前記光検出手段で検出された信号は半導体レーザの波長および出力の少なくとも1つの制御の為に用いられる請求項1記載の光検出装置。

【請求項20】 前記半導体レーザと前記回折格子が形成された導波路とが、同一基板上にモノリシックに形成されている請求項19記載の光検出装置。

【請求項21】 前記半導体レーザは波長可変半導体レーザである請求項19記載の光検出装置。

【請求項22】 前記半導体レーザは分布反射型半導体レーザである請求項19記載の光検出装置。

【請求項23】 前記半導体レーザはファブリペロー型半導体レーザである請求項19記載の光検出装置。

【請求項24】 前記ファブリペロー型半導体レーザの光出力の制御は該半導体レーザへの注入電流を制御して行ない、波長の制御は該半導体レーザの温度をペルチェ素子を通して制御して行なう請求項23記載の光検出装置。

【請求項25】 前記光検出手段で検出された信号は、波長トラッキングの為に前記電極を介する注入電流または印加電圧の制御に用いる請求項1記載の光検出装置。

【請求項26】 異なる波長の光信号を送出する少なくとも1つの送信端局と複数の波長の光信号を受信する受信端局が、光伝送路で接続された光通信ネットワークにおいて、少なくとも1つの受信端局に請求項25記載の光検出装置を備えたことを特徴とする光通信ネットワーク。

【請求項27】 異なる波長の光信号を送出する少なくとも1つの送信端局と複数の波長の光信号を受信する受信端局が、光伝送路で接続された光通信ネットワークにおいて、少なくとも1つの送信端局に請求項19記載の半導体レーザを有する光検出装置を備えたことを特徴とする光通信ネットワーク。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光通信分野などにおいて使用される光検出装置に関する。この光検出装置は、受光光の波長変動などを検出ないしモニターして、その検出信号をフィルタリングないし分波作用部の波長トラッキングの為に用いたり、レーザ発振光の波長および／または出力の制御の為に用いたりする。また、このような光検出装置は、光通信ネットワークないしシステムの送受信端局に好適に用いられる。

#### 【0002】

【従来の技術】従来、 $0.8\mu\text{m}$ 帯での波長多重通信において、1波当りの波長帯幅は、受信側のフィルターの性能などを考慮して、 $20\text{nm}$ 程度とかなり広く設定されている。その為、この帯域で送信光の波長が多少変動しても十分受信可能で波長多重通信に支障を与える様なことは無く、受信側で各通信波長に対して波長トラッキング機能は必要とされていなかった。

#### 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記従来例では、波長トラッキング機能が必要とされない代わりに、1波当りの帯域が広いので波長の多重度を増加させることが困難であり、波長多重通信の利点が十分に生かされていなかった。

【0004】従って、本発明の目的は、この問題点を鑑み、波長多重通信において1波当りの波長帯幅を狭く設定して波長多重度を増加できる様にする等の為に利用される受光光の波長変動等の検出機能を持つ光検出装置を提供することにある。

【0005】また、本発明の他の目的は、この問題点を鑑み、波長多重通信などにおいて送信側の光源となるレーザ装置の発振波長および／または出力モニター機能を持つレーザ装置用の光検出装置を提供することにある。

【0006】また、本発明の他の目的は、この問題点を鑑み、波長多重度を大幅に増加できる上記光検出装置を含む光通信ネットワークを提供することにある。

#### 【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明による第1の光検出装置においては、光が入力される半導体光導波路と、該導波路に形成された回折格子と、該導波路に電流を注入する為の電極と、該導波路の外部に射出される回折光を検出する為の複数の部分から成る光検出手段とを有することを特徴とする。

【0008】より具体的には、前記光検出手段は、複数の光検出素子から成る光検出素子列で構成されていたりする。

【0009】この本発明の第1の構成では、導波路に入射する光の波長変動による回折光の出射角の変化を光検出手段で検出し、この検出情報に基づいて、例えば、導波路への注入電流を制御してプラズマ効果など（キャリア注入による屈折率変化を利用）で導波路のブラッグ波長を変化させ、常に特定の光検出手段の部分に回折光が

入射する様になっている。

【0010】上記目的を達成する本発明による第2の光検出装置においては、光が入力される半導体光導波路と、該導波路に形成された回折格子と、該導波路に電圧を印加する為の電極と、該回折格子が形成された領域から光波長以内の距離に形成された少なくとも1層の厚さがドブロイ波長以下の量子井戸とを有することを特徴とする。

【0011】この本発明の第2の構成では、量子井戸構造を用いることにより、回折格子のブラッグ波長の可変幅が拡大し、波長トラッキング幅を拡大でき、また波長可変時の応答特性が改善される。

【0012】上記目的を達成する本発明による第3の光検出装置においては、光が入力される半導体光導波路と、該導波路に形成された回折格子と、該導波路に電圧を印加する為の電極とを有し、該回折格子が形成された領域から光波長以内の距離の該光導波路の部分に、少なくとも2層の量子井戸とその間の障壁層を含む層が形成され、該障壁層は光導波路に印加する電圧によって量子井戸間の結合状態を変化可能な厚さ、ポテンシャル形状に形成されていることにより、波長可変幅を更に拡大したものである。

【0013】より具体的には、前記量子井戸がp型及びn型の一方の導電型に形成され、該障壁層が高抵抗層で形成されていたり、前記障壁層が短周期の超格子で形成されていたり、前記障壁層のポテンシャルがフラットバンド状態で傾斜している様に形成されていたり、前記量子井戸が $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 、前記障壁層が $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq x < y \leq 1$ ) で形成され、そして該障壁層の厚さが $3\text{nm}$ 以上、 $15\text{nm}$ 以下であったりする。

【0014】上記目的を達成する本発明による第4の構成を有する光検出装置においては、導波路のブラッグ波長を注入電流または印加電圧によって変化させるための電極の他に、1個以上の電流注入用の電極が形成され、光増幅機能を有することを特徴とする。光増幅部が光入射端に存在する場合は、入射端面に無反射コーティングを施すことにより、増幅幅を増大できる。入射光は、光増幅部において信号光の増幅とともに自然放光が重畳されるが、単位波長あたりの自然放光量は少ないので、雑音の増大もわずかで、最小検出感度を大幅に向上できる。

【0015】上記目的を達成する本発明による第5の構成を有する光検出装置においては、光導波路の外部に射出される回折光を受光するための複数の光検出器が、導波路方向に短い受光面を持つ光検出器と、長い受光面を持つ光検出器で構成されていることを特徴とする。これにより、回折格子のブラッグ波長から、かなり離れた波長の入射光も検出できるため、迅速な波長チューニングが可能になる。また、波長多重された信号光の中から特定の複数の波長の光信号を同時に分波検出することが

可能になる。

【0016】上記目的を達成する本発明による第6の構成を有する光検出装置においては、複数の光検出器を、導波路に沿って複数列、しかも、その受光面が導波路に沿う方向で、総合的に見て、連続するように配置することを特徴とする。これにより、光検出装置全体をコンパクトにしたり、受光面の導波路方向の長さを短くして、光検出装置の波長分解能を向上させることが可能になる。

【0017】更に、上記他の目的を達成する本発明による波長および／または出力モニター機能を有する半導体レーザ装置用の光検出装置においては、半導体レーザの光軸上に、回折格子を有する半導体光導波路と、該導波路に電流を注入するかまたは電圧を印加する為の電極と、該導波路の外部に出射される回折光を検出する為の複数部分から成る光検出手段とを有することを特徴とする。この本発明の構成では、モニター部の導波路に入射する光の波長変動による回折光の出射角の変化などを光検出手段で検出し、この検出情報を半導体レーザ側へフィードバックして、半導体レーザの波長および／または出力を所望の値に維持する様になっている。

【0018】また、上記他の目的を達成する本発明による光通信ネットワークでは、異なる波長の光信号を送出する1つ以上の送信端局と複数の波長の光信号を受信する1つ以上の受信端局が、光伝送路で接続された光通信ネットワークにおいて、少なくとも1つの受信端局に上記本発明の光検出装置を備えることを特徴とする。また、該光通信ネットワークにおいて、少なくとも1つの送信端局に上記本発明の半導体レーザを有する光検出装置を備えることを特徴とする。

【0019】

【実施例】

#### 第1実施例

以下、本発明の第1実施例を図1および図2で説明する。図1は、本発明に基づく回折格子付き光導波路と光検出素子列を有する光検出装置の第1実施例の構成図である。同図において、 $n$ -GaAs基板2上に、順に、 $n$ -Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As光閉じ込め層3、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As光導波層4 ( $0 \leq y < x < 1$  となっている。これにより光閉じ込め層3のエネルギーギャップの方が光導波層4のそれより大きくなって、層3の屈折率が小さくなり光閉じ込め機能を果たす)、 $p$ -Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As光閉じ込め層6、 $p$ -Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Asコンタクト層7 ( $0 < z < 1$ ) が形成される。横方向の閉じ込めは、ストライプ形状部を除く両側エッチング後の再成長で積層された高抵抗Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As埋め込み層5で行なわれる。

【0020】コンタクト層7の上には、回折光出射用窓9が形成された上部 $p$ 型電極8が形成され、 $n$ -GaAs基板2の裏面には、 $n$ 型電極1が形成されている。また、Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As光導波層4の内部若しくは導波層

4から光の波長範囲内の位置に、回折格子（不図示）が形成されている。更に、回折格子付き光導波路の回折光出射用窓9の真上には、3個の素子PD1、2、3から成る光検出素子列11が配置されている。

【0021】以上の構成において、導波路に光が入力すると、光導波層4内又はこれを含む導波路の付近に形成されている回折格子により回折光が導波路上面に出射される。

【0022】回折光の垂直方向からの傾斜角 $\theta$ は、回折格子のピッチ $\Lambda$ と入射光の波長 $\lambda$ に対し、次の関係を満たす。

$$\sin \theta = n_{\text{eff}} - q \lambda / \Lambda \quad (1)$$

ここで、 $q$ は整数、 $n_{\text{eff}}$ を導波路の等価屈折率である。

【0023】導波路に対し、ほぼ垂直な回折光の傾斜角 $\theta$ はほぼ零 ( $\theta \approx \sin \theta \approx 0$ ) になるので、回折格子のピッチ $\Lambda$ は、

$$\Lambda \sim q \lambda / n_{\text{eff}}$$

に設定されることになる。入射光の波長変化 $d\lambda$ に対する傾斜角 $\theta$ の変化分 $d\theta$ は、(1)式を微分して次式で与えられる。

$$d\theta / d\lambda = (dn_{\text{eff}} / d\lambda - q / \Lambda) \quad (2)$$

本実施例では、導波路の等価屈折率は3.4～3.5となるので0.8 $\mu\text{m}$ 帯の入射光に対し、およそ0.24 $\mu\text{m}$ の回折格子を形成する ( $q=1$ )。

【0024】このとき、入射光の波長変化に対する傾斜角の変化は、

$$d\theta / d\lambda \sim -0.3 \sim -0.4 \text{ deg/nm}$$

であった。

【0025】回折光のファークフィールドパターン (FFP) は、導波路に沿う方向では非常に狭く、その広がり角 ( $\theta_p$ ) は0.2°程度であり、導波路を横切る方向では広くその広がり角 ( $\theta_t$ ) は15°程度である。従って、入射光の波長が0.5nm程度変化すれば、出射角即ち傾斜角 $\theta$ は $\sim 0.2^\circ$ 変化するので、導波路に沿う方向で回折光のビーム径程度変化することになる。よって、光検出素子列11の導波路に沿う方向の各素子PD1、2、3の受光面のサイズを回折光のビーム径 ( $\theta_p$ ) 程度にすれば、0.5nm程度の波長変化を検出できる。

【0026】波長分解能は上方に回折される回折光の導波路に沿う方向の広がり角 ( $\theta_p$ ) によって制限されているので、回折格子付き導波路の回折格子と光導波路の結合効率を小さくし且つ回折格子付き光導波路を長くすることにより、 $\theta_p$ を狭くし、波長分解能を上げることが可能である。

【0027】図2は、波長トラッキング機能を有する図1の光検出装置の簡単なブロック図である。図2において、先ず受信開始前の初期設定として、光導波路に入射した光の回折光の強度分布の最強領域が光検出素子列11の中央の素子PD2に入射される様に、光導波路の注

入電流を注入電流制御回路15で制御して回折格子のブラッグ波長を変化させる。この時、他の検出素子PD1、PD3への入射光量は、両者等しいかゼロになる様に設定されている。この状態で受信を開始する。

【0028】受信中に入射光の波長が長い方へ変化すると、検出素子PD2の入射光量が減少すると共に、検出素子PD1の入射光量が増加し検出素子PD3の入射光量は減少するかゼロのままである。比較回路16で、PD1（検出素子PD1の入射光量）-PD3、及びPD2-PD1（又はPD3）を演算することで、この入射光の波長の変化の量と方向が分かる。そこで、比較回路16で注入電流制御回路15を制御して光導波路への注入電流を減少させて、回折格子のブラッグ波長を長波長側へシフトさせる。これで、検出素子PD1、PD3の入射光量を等しくさせるかゼロにすることにより、回折光の入射最強領域が中央の検出素子PD2になる様にする。一方、入射光の波長が短い方へ変化して上記入射光量が逆に変化した場合は、光導波路への注入電流を同様の仕方で増加させて回折格子のブラッグ波長を短波長側へシフトさせ、同様に回折光の出射角を制御する。こうして、入射光の波長が変化しても光導波路からの回折光が常に光検出素子列11の中央の検出素子PD2へ入射する様にでき、入射光の波長トラッキングが可能となる。この際、注入電流と回折格子のブラッグ波長との関係は、前もって測定されていて注入電流制御回路15に記憶されている。

#### 【0029】第2実施例

図3は、本発明の第2実施例である。光導波路から出射される回折光のファーフールドパターン（FFP）は、前述したように、導波路に沿う方向では非常に狭くその広がり角（ $\theta_p$ ）は $0.2^\circ$ 以下であり、導波路を横切る方向では広く、その広がり角（ $\theta_t$ ）は $15^\circ$ 程度である。このように導波路を横切る方向における広がり角が大きいので、光検出素子列11に入射する光量は、全放射光量の数%程度になってしまう。

【0030】そこで、光導波路と光検出素子列11の間にシリンドリカルレンズ12を配置して、回折光の導波路を横切る方向の集光を行なうことにより検出素子列11に入射する光量を増加させ、光導波路に入射する光が弱くても波長トラッキングが有効に行なわれるようにしたものである。その他の構成は、第1実施例と同じである。図3において、図1と同一符号で示すものは、同一機能部分ないし素子を表わす。

#### 【0031】第3実施例

次に、本発明の第3実施例を図4で説明する。図4は、本発明に基づく回折格子付き光導波路と光検出素子列を有する光検出装置の第3実施例の光入射側から見て左半分を示す断面構成図である。同図において、 $n$ -GaAs基板22上に、順に、 $n$ -Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Asクラッド層23、厚さ10nmのGaAs井戸層31を10層、

厚さ10nmのAl<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>As層32（ $0 \leq y < x < 1$ ）を11層交互に積層した超格子導波路層24、周期約260nmの2次の回折格子33、 $p$ -Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Asクラッド層26、 $p$ -Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Asコンタクト層27が形成される。横方向の閉じ込めは、エッチング後の再成長で積層された高抵抗Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As埋め込み層25で行なわれる。コンタクト層27の上には、回折光出射用窓29が形成された上部 $p$ 型電極28が形成され、 $n$ -GaAs基板22の裏面には、 $n$ 型電極21が形成されている。

【0032】この構成において、量子井戸31は、回折格子33の領域から光波長以内の距離にあり、その厚さはドブロイ波長以下である。更に、回折格子付き光導波路の回折光出射用窓29の真上には、第1実施例の図1に示すのと同じく、3個の素子PD1、2、3から成る光検出素子列11が配置されている。以上の構成において、導波路に光が入射すると、光導波路24内又はこれを含む導波路の付近に形成されている回折格子43により回折光が導波路上面に射出される。この時、入射光の波長が回折格子33のブラッグ波長と一致していれば上記回折光は導波路から垂直な方向に射出される。この事情は、第1実施例と同じである。

【0033】第1実施例と異なる点は、第3実施例では超格子導波路層24に電流を注入するのではなく逆バイアスを印加する。逆バイアスを印加しない時の回折格子33のブラッグ波長は870nmであり、量子井戸構造31、32の吸収端は850nmであり、従ってブラッグ波長の光（これは入射光である）に対し量子井戸構造31、32は十分低損失になっている。電極28に-5Vの逆バイアスを印加すると、回折格子33のブラッグ波長は約7nm短くなった。これは、量子井戸構造31、32のQCSE効果（量子閉じ込めシュタルク効果）に伴う屈折率の大きな変化により生じたものである。これにより、回折格子33付き光導波路と複数の光検出素子PD1、2、3で構成される波長トラッキング機能を有する光検出装置の波長トラッキング帯域は、光導波路へのキャリア注入によるプラズマ効果などによるブラッグ波長の可変幅（数nm程度）と比べて、863~870nmと拡大された。また、波長可変時の応答速度は、光導波路へのキャリア注入時間を要しないので、キャリア注入する場合と比べて（この場合、キャリア注入の為の時間を必要とするので数nsecと遅い）、500ps程度と大きく改善された。

【0034】動作も第1実施例とほとんど同じである。図1をも参照しながら説明すると、先ず受信開始前の初期設定として、光導波路に入射した光の回折光の強度分布の最強領域が光検出素子列11の中央の素子PD2に入射される様に、光導波路への印加電圧を制御して回折格子33のブラッグ波長を変化させる。この時、他の検出素子PD1、PD3への入射光量は、等しいかゼロに

なる様に設定されている。この状態で受信を開始し、受信中に入射光の波長が長い方へ変化すると、検出素子PD2の入射光量が減少すると共に、検出素子PD1の入射光量が増加し、検出素子PD3の入射光量は減少するかゼロのままである。比較手段で、PD1（検出素子PD1の入射光量）-PD3、及びPD2-PD1（又はPD3）を演算することで、この入射光の波長の変化の量と方向が分かる。そこで、比較手段で電圧印加手段を制御して光導波路への印加電圧を減少させて、回折格子33のブラッグ波長を長波長側へシフトさせ、検出素子PD1、PD3の入射光量を等しくさせるかゼロにすることにより回折光の最強領域が中央の検出素子PD2に入射される様にする。一方、入射光の波長が短い方へ変化した場合は、光導波路への印加電圧を増大させて回折格子33のブラッグ波長を短波長側へシフトさせ、同様に回折光の出射角を制御する。こうして、入射光の波長が変化しても光導波路からの回折光が常に光検出素子列11の中央の検出素子PD2へ入射する様にでき、入射光の波長トラッキングが可能となる。

#### 【0035】第4実施例

先ず、第4実施例の動作原理を説明する。超格子構造において、障壁層が薄く量子井戸が結合状態にある場合、この超格子構造の屈折率（ $n_1$ とする）は、障壁層と量子井戸層を混ぜた混晶（超格子構造に含まれる各成分をこれと同量の割合で含む様な混晶）の屈折率（ $n_A$ とする）にほぼ等しいが（ $n_1 \approx n_A$ ）、障壁層が比較的厚く、量子井戸層が結合状態にない場合の超格子構造の屈折率（ $n_2$ とする）は広い波長範囲において $n_A$ より0.1程度大きくなること（ $n_A + 0.1 \leq n_2$ ）が知られている（Journal of Electronic Materials, vol. 12, p. 397 (1983) 参照）。

【0036】従って、超格子構造の比較的厚い障壁層に電界を印加してここのポテンシャル分布を変化させ、実効的に障壁層のポテンシャル高さ、形状を変化させると、量子井戸間の結合状態が変化することになり、その結果、超格子構造の屈折率が大きく変化する（量子井戸間が結合状態にある時は比較的屈折率が小さく、結合状態にない時は比較的屈折率が大きくなる）。

【0037】本実施例は、こうした原理により、電圧印加領域である超格子構造の半導体光導波路の屈折率を吸収損失の増大を伴わないで大きく変化させ、回折格子のブラッグ波長を変化させることで、光導波路への入射光の波長が変動しても外部へ出射する回折光が常に光検出手段の所定部分に来て検出される様になっている。ここでは、導波路へのキャリア注入により屈折率変化を利用するものでも、また量子井戸を有する導波路に電界を印加して量子準位エネルギー近傍の光の吸収増大により屈折率の変化を利用するものでもなく、上記の如き態様で超格子構造を用いるものなので、回折格子のブラッグ波

長の可変幅が更に拡大し、波長トラッキング幅を拡大でき、また波長可変時の応答特性が更に改善される。また、導波路の光吸収損失が増大するという欠点や、屈折率変化が吸収端付近の波長の光に限定され利用できる光もその辺りの波長に限定されるという様な欠点もない。

【0038】以下、第4実施例を図5で説明する。図5は、本発明に基づく回折格子付き光導波路と光検出素子列を有する光検出装置の第4実施例の半分を示す断面構成図である。同図において、 $n$ -GaAs基板42上に、順に、 $n$ -Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Asクラッド層43、厚さ5nmの $n$ -GaAs井戸層51を10層、厚さ6nmの高抵抗Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>As層52（ $0 \leq y < x < 1$ ）を11層交互に積層した超格子導波路層44、周期約260nmの回折格子53、 $p$ -Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Asクラッド層46、 $p$ -Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>Asコンタクト層47（ $0 < z < 1$ ）が形成される。横方向の閉じ込めは、エッチング後の再成長で積層された高抵抗Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>As埋め込み層45で行なわれる。コンタクト層47の上には、回折光出射用窓49が形成された上部p型電極48が形成され、 $n$ -GaAs基板42の裏面には、 $n$ 型電極41が形成されている。

【0039】この構成において、量子井戸51は、回折格子53の領域から光波長以内の距離にあり、その厚さはドブroy波長以下である。更に、回折格子付き光導波路の回折光出射用窓49の真上には、第1実施例の図1に示す如く、3個の素子PD1、2、3から成る光検出素子列11が配置されている。

【0040】以上の構成において、導波路に光が入力すると、光導波路44内又はこれを含む導波路の付近に形成されている回折格子53により回折光が導波路上面に射出される。この時、入射光の波長が回折格子53のブラッグ波長と一致していれば上記回折光は導波路から垂直な方向に射出される。この事情は、上記第1実施例と同じである。

【0041】第4実施例では、第3実施例と同様に、超格子導波路層44に逆バイアスを印加する。上記構成において、バイアスを印加しない時の回折格子53のブラッグ波長は875nmであり、超格子導波路層44の吸収端は約820nmであった。電極48に-5Vの負バイアスを印加すると、回折格子53のブラッグ波長は約10nm短くなった。これは、無バイアス時は障壁層52に印加される電界が自己バイアス（ $n$ -クラッド層43と $p$ -クラッド層46によるもの）のみなので障壁層52のポテンシャル分布の傾斜は小さく、量子井戸51間の結合程度は小さいので、超格子導波路の屈折率は同一A1組成の混晶の場合の値に比べておよそ0.1程度大きな値であるからである。一方、負バイアスを印加すると、井戸層51は $n$ 型にドーピングされている為に電界はすべて障壁層52に印加され、そのポテンシャルの傾斜が大きくなるので、実効的に障壁層52のポテンシャル

高さが低くなり、量子井戸51間の結合程度が大きくなって屈折率は同一A1組成の混晶の値に近付き小さくなるからである。この時の屈折率の変化に対して、光吸収の増大は伴わないので光導波路の光損失は変化しない。これにより、回折格子53付き光導波路と複数の光検出素子PD1、2、3で構成される波長トラッキング機能を有する光検出装置の波長トラッキング帯域は、光導波路へのキャリア注入によるプラズマ効果などによるブラッグ波長の可変幅(数nm程度)などと比べて、865~875nmと拡大された。また、波長可変時の応答速度は、光導波路へのキャリア注入時間を要しないので、キャリア注入する場合と比べて(この場合、キャリア注入の為に時間を必要とするので数nsecと遅い)、500psec程度と大きく改善された。

【0042】超格子導波路層51、52のポテンシャル分布には種々の態様があり、図6、7、8にその例を示す。図6の例では、フラットバンド状態で障壁層52-1のポテンシャルが傾斜している様に超格子導波路層51-1、52-1、クラッド層43、46を形成している。図7の例では、障壁層52-2のポテンシャルが傾斜しつつ階段状になる様に超格子導波路層51-2、52-2等を形成している。図8の例では、障壁層52-3が更に短周期の超格子で形成されている。これらの例では、電圧を印加した際に量子井戸51-1、51-2、51-3間の結合が容易に生じることになる。

【0043】動作は第3実施例とほとんど同じである。図1をも参照しながら説明すると、先ず受信開始前の初期設定として、光導波路に入射した光の回折光の強度分布の最強領域が光検出素子列11の中央の素子PD2に入射される様に、光導波路44の印加電圧を電圧印加手段で制御して回折格子53のブラッグ波長を変化させる。この時、他の検出素子PD1、PD3への入射光量は、等しいかゼロになる様に設定されている。この状態で受信を開始し、受信中に入射光の波長が長い方へ変化すると、検出素子PD2の入射光量が減少すると共に、検出素子PD1の入射光量が増加し検出素子PD3の入射光量は減少するかゼロのままである。比較手段で、PD1(検出素子PD1の入射光量)-PD3、及びPD2-PD1(又はPD3)を演算することで、この入射光の波長の変化の量と方向が分かる。そこで、比較手段で電圧印加手段を制御して光導波路への印加電圧を変化させて、回折格子53のブラッグ波長を長波長側へシフトさせ、検出素子PD1、PD3の入射光量を等しくさせるかゼロにすることにより回折光の最強領域が中央の検出素子PD2に入射される様にする。一方、入射光の波長が短い方へ変化した場合は、光導波路への印加電圧を反対方向に変化させて回折格子53のブラッグ波長を短波長側へシフトさせ、同様に回折光の出射角を制御する。こうして、入射光の波長が変化しても光導波路からの回折光が常に光検出素子列11の中央の検出素子PD

2へ入射する様にでき、入射光の波長トラッキングが可能となる。

#### 【0044】第5実施例

上記第1実施例などによる波長トラッキング機能を有する光検出装置は、回折格子を形成した半導体光導波路、電流注入または電圧印加用の電極、及び前記導波路の外部に出射される回折光を受光できる位置に配置した複数の光検出器、導波路に入射する光の波長変動による回折光の出射角の変化を前記複数の光検出素子により検出し常に特定の光検出素子に回折光が入射されるように導波路のブラッグ波長を注入電流または印加電圧によって変化させる制御手段によって構成されている。

【0045】しかしながら、これらの実施例では、入射光強度が弱いと回折光の強度も弱くなり、検出強度が低下してしまう。そこで、光導波路に光増幅機能を付加することにより、装置の検出感度を大幅に改善できる。第5実施例はこのような実施例である。

【0046】図9は、本実施例の特徴をもっともよく表わす図面であり、回折格子付き光導波路部123と光増幅部122、光検出素子列121の配置を示している。回折格子付き光導波路部123及び光増幅部122には、n-GaAs基板112上に、n-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As光閉じ込め層113、Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>As(0≤y<x<1)光導波層114、高抵抗Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As埋め込み層115、p-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As光閉じ込め層116、p-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As(0<z<1)コンタクト層117が形成されており、n型基板112の反対側にはn型電極111が形成されている。回折格子付き光導波路部123には回折光出射用窓120が形成された上部p型電極119が形成されており、光増幅部122には上部p型電極118が形成されている。

【0047】また、Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>As光導波層114内部もしくは導波層114を含む光導波路から光の波長範囲内の位置に、回折格子124が形成されている。3個の光検出素子列121は、回折格子付き光導波路の回折光出射用窓120の真上に配置されている。導波路の両端面には無反射コーティング125が施されている。

【0048】次に、本実施例の動作について説明する。電極118より発振しきい電流以下の電流を注入した状態で、無反射コーティング125を通して入射された光は、光増幅部122を通して増幅され、回折格子124によって回折光が導波路上面に射出される。この時、射出される回折光の強度は、光増幅部122があることで、前記実施例における回折光の強度よりも強いものとなることができる。光増幅部122では、信号光の増幅とともに自然放出光が重畳されるが、各光検出素子では、回折格子により波長成分に分離された信号光が検出されるため、重畳される自然放出光のうち信号光と同一波長成分のみが雑音となる。従って、自然放出光の重畳にもかかわらず、S/N比を大幅に改善できる。

【0049】導波路の構造は、光増幅部122および回折格子付き光導波路部123とも同一の構成をとっているため、製造工程が簡易になる。また、両者間の光軸合わせをする必要がなく結合損を考慮する必要がなくなる。波長トラッキングの方法等については、第1実施例などと同じである。

#### 【0050】第6実施例

図10は、本発明の第6実施例の構成を示す図であり、回折格子付き光導波路部143と第一の光増幅部142、光検出素子列141、第二の光増幅部146の配置を示している。回折格子付き光導波路部143及び第一、第二の光増幅部142、146では、 $n\text{-GaAs}$ 基板132上に、 $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 光閉じ込め層133、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x < 1$ ) 光導波層134、高抵抗 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 埋め込み層135、 $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 光閉じ込め層136、 $p\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 < z < 1$ ) コンタクト層137が、導波路の長手方向を、基板132端面の法線方向に対して垂直ではない或る角度に設定して、形成されている。 $n$ 型基板132の反対側には $n$ 型電極131が形成されている。回折格子付き光導波路部143には、回折光出射用窓140が形成された上部 $p$ 型電極139が形成されており、光増幅部142、146には各々上部 $p$ 型電極138、147が形成されている。

【0051】また、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ 光導波層134内部もしくはそれを含む導波路から光の波長範囲内の位置に、回折格子144が形成されている。3個の光検出素子列141は、回折格子付き光導波路143の回折光出射用窓140の真上に配置されている。次に、本実施例の動作について説明する。導波路の端面を導波路の長手方向に垂直ではない或る角度にすることで、端面での反射を抑え、光増幅部142の発振しきい電流を大きな値にすることができる。電極138より発振しきい電流以下の電流を注入した状態で、無反射コーティングを通して入射された光は、光増幅部142を通ることで増幅され、回折格子144によって回折光が導波路上面に射出される。この時、射出される回折光の強度は、光増幅部142、146があることで、第1実施例などにおける回折光の強度よりも強いものとすることができる。光増幅部142では、信号光の増幅とともに自然放出光が重畳されるが、光検出は、各波長に分岐して行うので、 $S/N$ 比は大幅に改善できる。

【0052】また、第二の光増幅部146によって、透過光のグレーティング144による損失分が補われ、入射光と同じ強度の透過光が得られる。導波路の構造は、第8実施例と同様、光増幅部142、146および回折格子付き光導波路部143とも同一の構成をとっているため、製造工程が簡易になる。また、両者間の光軸合わせをする必要がなく、結合損を考慮する必要がなくなる。

#### 【0053】第7実施例

上記実施例では、入射光の波長に、回折格子のブラッグ波長を近づけるために、回折格子付き光導波路に電流注入や電界印加が出来るように構成されている。しかしながら、上記実施例では、光検出装置を上げた際、入射光の波長と回折格子付き光導波路のブラッグ波長が大きく異なっている状態では、ブラッグ波長を入射光の波長にチューニングするのに多少時間がかかってしまう。

【0054】第7実施例はこの問題点を解決するものである。本実施例によれば、光導波路の外部に出射される回折光を受光するための複数の光検出器が、導波路方向に短い受光面を持つ光検出器と、同方向に長い受光面を持つ光検出器で構成されていることにより、回折格子のブラッグ波長から、かなり離れた波長の入射光も検出できるため、迅速な波長チューニングが可能になる。また、波長多重された信号光の中から特定の複数の波長の光信号を同時に分岐検出することも可能になる。

【0055】図11は、第7実施例の特徴を最もよく表わす構成図であり、回折格子付き光導波路と光検出器列の配置を示している。回折格子付き光導波路は、 $n\text{-GaAs}$ 基板62上に、 $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 光閉じ込め層63、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x < 1$ ) 光導波層64、高抵抗 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 埋め込み層65、 $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 光閉じ込め層66、 $p\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 < z < 1$ ) コンタクト層67、回折光出射用窓69が形成された上部 $p$ 型電極68が形成されており、 $n\text{-GaAs}$ 基板62の反対側には $n$ 型電極61が形成されている。また、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ 光導波層64内部もしくは導波層64を含む導波路から光の波長範囲内の位置に、回折格子が形成されている。5個の光検出器71～75は、導波路に沿う方向で、回折光出射窓69の真上に一列に配置されている。

【0056】導波路に光が入射すると、回折格子により回折光が導波路上面に射出される。この回折光のファーストモードパターン (FFP) は、前述したように、導波路に沿う方向 ( $\theta_p$ ) で $\sim 0.2^\circ$ 、導波路を横切る方向 ( $\theta_t$ ) で $\sim 15^\circ$ である。また、回折光の出射角  $\theta$  (垂直方向からの傾斜角) と、入射光の波長と回折格子のブラッグ波長との差異  $\Delta\lambda$  の関係は、およそ  $\Delta\theta/\Delta\lambda \approx -0.3 \sim -0.4 \text{ deg/nm}$  で表わされる。したがって、波長分解能 $\sim 0.5 \text{ nm}$ を得るためには、導波路に沿う方向の受光面の長さを、FFPのビーム径程度にしなければならない。

【0057】一方、入射光の波長が、回折格子のブラッグ波長から $10 \text{ nm}$ 離れていても、回折光の出射角  $\theta$  の  $\Delta\lambda$  依存性は、ほとんど変化しないので、この場合、出射角は $\sim 3^\circ$ 程度になる。つまり、1例として、光検出器列71～75と導波路の距離を $10 \text{ mm}$ とすると、波長分解能 $\sim 0.5 \text{ nm}$ を得るためには、中央に配置された検出器72、73、74の導波路に沿う方向の受光面



の長さは $\sim 30\mu\text{m}$ 以下が必要であり、又、ブラッグ波長から $10\text{nm}$ 離れた光までを検出するためには、端に配置された検出器71、75の導波路に沿う方向の受光面の長さは、 $\sim 0.5\text{mm}$ 程度必要となる。

【0058】一方、ブラッグ波長の変化は、回折格子付き光導波路に電流注入、又は電界印加することによる実効屈折率の増大によって得られるものである。したがって、入射光の波長は、電流注入がない場合、又は電界印加がない場合のブラッグ波長 $\lambda_B$ より、常に短波長側に設定される必要がある。しかし、回折格子付き光導波路の温度が上昇すれば、ブラッグ波長は温度に対し $\sim 0.07\text{nm}/\text{deg}$ の依存性で、長波長側にシフトするので、ヘルチエ素子による温度制御を追加すれば、ブラッグ波長の長波長側への変化も可能である。

【0059】第7実施例はこのような構成を有するので、入射光がブラッグ波長から相当に離れていても、端に配置された検出器71、75でこの差が検出され、有効に波長トラッキングができる。動作は実質的に第1実施例と同じである。

#### 【0060】第8実施例

図12は、波長多重された入射光から特定の2波の光信号を分波検出するための、光検出器列の構成図である。他の部分は上記第7実施例と同じである。光検出器列は、導波路に沿う方向に受光面の長い第1光検出器81と、これより多少離れて、導波路に沿う方向に受光面の短い複数の光検出素子より成る第2光検出器82、83、84により構成されている。一方、入射光は、 $\lambda_1$ と $\lambda_{i1}$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) で構成されており、 $\lambda_1$ は波長多重通信の為の制御信号を含むため、常時受信する必要がある、かつ、帯域も広いので、波長のトラッキングを必要としない。 $\lambda_{i1}$ は $\lambda_1$ の波長とは充分離れており、波長多重度を上げるため、各々の帯域は狭いので波長トラッキングを必要とする。上記の入射光が、回折格子付き光導波路に入射すると $\lambda_1$ の光信号は、第1検出器81により常時受信される。一方、 $\lambda_{i1}$ の光信号のうち、特定の信号 $\lambda_{i1}$ が第2検出器82 $\sim$ 84で受信出来るように、回折格子のブラッグ波長を注入電流や印加電圧により変化させるとともに、受信を継続するための波長トラッキングを第2検出器82 $\sim$ 84で行なう。この動作は第1実施例と同じである。

【0061】検出器列の受光面の長さや配置は、回折格子の特性、導波路と検出器列との距離、入力光の波長成分に大きく依存するが、回折格子の特性を第7実施例程度とし、入力光の構成は、 $\lambda_1$ と $\lambda_{i1}$ の中心波長の差は $20\text{nm}$ 、 $\lambda_1$ の波長変動は $\pm 1\text{nm}$ 以内、 $\lambda_{i1}$ の各波長は $0.5\text{nm}$ づつはなれて4波多重されていて、導波路と検出器列の垂直方向の距離を $10\text{mm}$ とすると、 $\lambda_1$ と $\lambda_{i1}$ の回折光の出射角 $\theta_1$ 、 $\theta_{i1}$ の差は $\sim 6^\circ$ 程度異なり、第1検出器81が $\lambda_1$ を常時受信するために、 $(\lambda_1\text{の波長変動幅})$  プラス (ブラッグ波長の可変

幅)の $\lambda_1 + 2\text{nm}$ の波長帯域を検出する必要がある。

出射角にすると、 $\lambda_{i1}$ の光から $5.4^\circ \sim 6.6^\circ$ の光を検出すればよいので第2検出器82 $\sim$ 84から、導波路に沿う方向に $1\text{mm}$ 程度離れて、導波路に沿う方向の受光面の長さが $0.2\text{mm}$ 以上の検出器81を配置すればよい。一方、第2検出器82 $\sim$ 84は、 $0.5\text{nm}$ 離れた2つの信号を分離する必要があるので、各検出素子82、83、84の受光面の長さは、 $\sim 10\mu\text{m}$ 程度が必要である。この際、波長トラッキングが行なわれるときに、波長 $\lambda_1$ の制御信号の出射角も多少変化するが、これは第1検出器81が十分長く形成されているので問題にならない。

#### 【0062】第9実施例

上記実施例では、複数の光検出器ないし素子は、導波路に沿う方向に1列に配置されていた。しかしながら、光検出器を1列に配置した場合、表面電極や素子分離のため、受光面を連続にすることは不可能であった。このため、光検出器と光導波路の距離を縮めて、光検出装置全体をコンパクト化したり、光検出器の受光面の導波路に沿う方向の長さを短くすることによる波長分解能の向上には限界があった。そこで、第9実施例によれば、複数の光検出器を、導波路に沿って複数列、しかも、その受光面が導波路に沿う方向で、総合的に見て、連続するように配置することにより、光検出装置全体をコンパクトにしたり、受光面の導波路方向の長さを短くして、光検出装置の波長分解能を向上させることが可能になった。

【0063】図13は第9実施例の特徴を最もよく表わす概念図であり、複数の光検出器は回折格子付き光導波路に沿う方向に2列で、しかも、受光面が導波路方向で連続となるように、2列の検出器は千鳥に配置されている。

【0064】各検出器の受光面91、92、93；101、102、103はそれぞれ、表面電極や素子の電気的分離のため、光を検知しない領域（不図示）に囲まれている。従って、この光を検知しない領域を互いに捕うように2列の検出器の受光面が配置されている。

【0065】回折格子付き光導波路から、出射される回折光のファークフィールドパターン (FFP) は、導波路に沿う方向の広がり角 ( $\theta_p$ ) が $0.2$ 度以下であり、導波路を横切る方向の広がり角 ( $\theta_t$ ) が $15$ 度程度である。従って、検出器の位置における回折光の照射領域 (図13の斜線で示す) は、導波路に沿う方向に短く、導波路を横切る方向に長い帯状になるので、2列の光検出器は、上記のごとく配置すれば、互いの光検出器列の光を検知しない領域をカバーすることが可能である。

【0066】一方、検出される光の波長分解能は、回折光の導波路方向の広がり角 $\theta_p$ と、回折光の出射角 $\theta$ の変化 $\Delta\theta$ の、入射光とブラッグ波長の波長差 $\Delta\lambda$ 依存性  $\Delta\theta/\Delta\lambda = -0.3 \sim -0.4\text{deg}/\text{nm}$  と、検出器の導波路に沿う方向の受光面の長さによって

決まる。

【0067】上記した如く、例えば、導波路に沿う方向において検出器の受光面の長さを回折光のビーム径程度とすると $\sim 0.5 \text{ nm}$ の分解能が得られる。この場合、導波路と光検出器との距離を $10 \text{ mm}$ とすると、有効受光面の長さは、およそ $30 \mu\text{m}$ となる。この時、隣りの受光面との間にデッドスペースが存在すると、その分、波長分解能が低下することになる。有効受光面の長さが短くなるほど、デッドスペースの割合が多くなるので、これを無くする本実施例は更に有効になる。更に、前記受光面の長さを $1/3$ 程度にすれば、回折光のビーム強度分布を検出できるため、分解能を、 $1/2 \sim 1/3$ に上げることが可能になるか、又は、分解能が同程度で充分であれば、導波路と光検出器の距離を近づけることにより、装置全体をコンパクトにできる。

【0068】また、回折光のファーフールドパターン(FFP)の導波路に沿う方向の広がり角( $\theta_p$ )は、現在 $0.2$ 度程度であるが、回折格子の形状、光導波路の損失、長さ等を最適化することにより、 $0.1$ 度以下に出来るので、本実施例を用いることにより、分解能を $\sim 0.1 \text{ nm}$ 以下にまで向上させることが可能である。本実施例では、例えば、各光検出器の受光量を検出することで入射光の波長の変化と方向が分かり、この結果に従って、回折格子のブラッグ波長を適当にシフトさせることで入射光の波長トラッキングが可能となる。その他の点については、上記実施例と同じである。

#### 【0069】第10実施例

図14は、本発明に基づく3電極分布反射(DBR)型波長可変半導体レーザ部と波長および出力を検出するモニター部の導波路部分をモノリシックに形成した第10実施例の構成図である。同図において、 $n\text{-GaAs}$ 基板152上に、順に、 $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 光閉じ込め層153、 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ 光導波路層154( $0 \leq y < x < 1$ )となっている。これにより光閉じ込め層153のエネルギーギャップの方が光導波路層154のそれより大きくなって、屈折率が小さくなり光閉じ込め機能を果たす。)、 $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 光閉じ込め層155、 $p\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ コンタクト層157( $0 < z < 1$ )が形成される。コンタクト層157のAl組成 $z$ は、発振波長に対し、吸収が少なくなるように選択されている。横方向の閉じ込めは、エッチング後の再成長で積層された高抵抗 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 埋め込み層156で行なわれる。 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ 光導波路層154においては、これを含む導波路から光の波長範囲内の位置に、レーザ部の活性領域では活性層161、DBR領域では分布反射ミラー用の回折格子162、またモニター部では回折格子163が形成されている。コンタクト層157の上には、上部P型電極158、171、172、173が形成され、またモニター部の電極158には、回折光出射用窓159が形成され、 $n\text{-GaAs}$ 基板15

2の裏面には、 $n$ 型電極151が形成されている。更に、回折光出射用窓159の上方には、3個の素子PD1、2、3から成る光検出素子列160が配置されている。

【0070】以上の構成において、波長可変半導体レーザを発振させると、モニター部の導波路にレーザ光が入射する。モニター部の回折格子163により回折光が導波路上面に出射される。この時、入射光の波長が回折格子163のブラッグ波長と一致していれば上記回折光は導波路から垂直な方向に出射される。ここでの事情は、第1実施例と同じである。

【0071】図15は、波長および出力モニター機能を有する図14の半導体レーザ装置用光検出装置を使用するための簡単なブロック図である。これは、基本的には、図2の構成と同じである。図15において、先ず初期設定として、波長可変レーザを発振させ、モニター部に入射した光の回折光の強度分布の最強領域が光検出素子列160の中央の素子PD2に入射される様に、光導波路への注入電流をモニター部注入電流制御回路181で制御して回折格子163のブラッグ波長を変化させる。この時、他の検出素子PD1、PD3への入射光量は、等しいかゼロになる様に設定される。

【0072】この時、発振波長および光出力(PD2の信号、又はPD1、2、3の合計信号)が所望の値に達していなければ、所望の値になるまで、上記操作をくり返す。この状態で送信を開始し、送信中に入射光の波長が長い方へ変化すると、検出素子PD2の入射光量が減少すると共に、検出素子PD1の入射光量が増加し検出素子PD3の入射光量は減少するかゼロのままである。比較回路182で、PD1(検出素子PD1の入射光量)-PD3、及びPD2-PD1(又はPD3)を演算することで、この入射光の波長の変化の量と方向が分かる。そこで、比較回路182でレーザ部注入電流制御回路183を制御して半導体レーザの電極171、172、173(特に、電極173)への注入電流を変化させて、発振波長を長波長側へシフトさせることにより、回折光の最強領域が再び中央の検出素子PD2に入射されるようになる。また、光出力は、PD1、2、3の出力の合計が常に一定になるように、半導体レーザの電極171、172、173(特に、電極171)への注入電流を制御することにより、一定にされ、発振波長および出力を常に所望の値に維持することが可能となる。こうして、波長多重光通信における波長多重度の増大が可能となった。本実施例において、レーザ部のDBR領域に使用される回折格子162が2次のものであれば、モニター部の回折格子163と同一ピッチで動作するため、製造が簡単となる。

#### 【0073】第11実施例

図16は、本発明の第11実施例であり、ファブリペロー半導体レーザ(FPLD)部と波長および出力を検

出するモニター部の導波路部分をモノリシックに形成した構成図であり、図14と同じ機能部は、同一番号で示した。FP-LDの共振器は、光出力側へキ開面と、モニター側のエッチングで形成されたミラー面で形成されている。エッチングで形成されたミラー面からは一部が透過光となり、モニター部の導波路に入射する。

【0074】図17は、本実施例を使用するための簡単な制御ブロック図である。図15と同じ機能部は、同一番号で示した。FP-LD部の光出力の制御は、レーザ部注入電流制御回路188による電極171への注入電流制御で行ない、波長の制御は、ペルチェ制御回路189により、FP-LD部の温度をペルチェ素子(1)190を通して制御することで行なうものである。FP-LD部の発振波長の温度依存性は $0.3\text{nm/deg}$ と比較的大きいので広帯域において使用可能である。モニター部の温度はペルチェ素子(2)191を通して制御される。

【0075】第10、および第11実施例では、半導体レーザ部とモニター部の導波路をモノリシックに構成した形態を示したが、それぞれを個別素子で構成し、導波路間をレンズやファイバ等で結合する形態も可能である。また、半導体レーザ単体として、波長可変機能を持たない分布帰還型レーザや分布反射型レーザも利用出来る。

#### 【0076】第12実施例

図18に本発明の光検出装置を備えた光通信システムの第12実施例を示す。図18において、200は送信端局、250、300は分岐合流器、400は受信端局、500は光ファイバ等の光伝送路である。送信端局200は、夫々、信号処理部と電気-光変換部である第10実施例等の半導体レーザを備えた光検出装置を含む光送信部などより構成される。受信端局400は、夫々、上記第1実施例などの光検出装置410と信号処理部420などより構成されている。

【0077】図18の構成の光通信システムにおいて、N個の送信端局200からは夫々異なる波長 $\lambda_1, \dots, \lambda_N$ の光信号が送出されており、それらは分岐合流器250にて波長多重されて、光伝送路500に送出される。光伝送路500を伝送されてきた光信号は、分岐合流器300でM個に分岐され、M個の受信端局400に入力される。受信端局400は、上記の光検出装置410を制御して、N個の波長の信号が多重された光信号の中から、必要な波長の光信号を選択して電気信号に変換する。この電気信号は、更に、信号処理部420にて処理されて、送信端局200から受信端局400への通信が完了する。

【0078】本実施例では複数の送信端局から複数の受信端局へ片方向に伝送する例を示したが、分岐合流器300を省略し受信端局を1つにした構成や、分岐合流器250および300に夫々複数の送信端局と1つ以上の

受信端局を接続し、双方向に伝送する構成も考えられる。あるいは、ネットワークの構成として、光伝送路に分岐合流器等を介して送信受信端局をバス型に接続した構成、スターカブラ等を介して送信受信端局をスター型に接続した構成、ループ状ネットワークに分岐合流器等を介して送信受信端局を接続した構成においても、異なる波長の光信号を送出する複数の送信端局(または送信部)と少なくとも1つの上記実施例の光検出装置を搭載した受信端局(または受信部)がネットワークに接続されていれば上記と同様の通信が可能である。

#### 【0079】

【発明の効果】以上説明した様に、本発明では、回折格子を形成した半導体導波路から導波路の外部に出射される回折光を受光できる位置に光検出手段を配置して、例えば、導波路のブラッグ波長をここへの注入電流または印加電圧の制御により変化させて、常に光検出手段の所定部分に回折光が入射される様に構成すれば、入射光の波長トラッキングが可能となる。

【0080】また、本発明では、回折格子を形成した、1層以上の量子井戸を含む量子井戸構造を用いる半導体導波路から導波路の外部に出射される回折光を受光できる位置に光検出手段を配置して、例えば、導波路のブラッグ波長をここへの印加電圧の制御により変化させて、常に光検出手段の所定部分に回折光が入射される様に構成すれば、入射光の波長トラッキングが広い波長帯域において可能となる。この構成では、波長可変時の応答特性が改善される。

【0081】また、本発明では、回折格子を形成した、2層以上の量子井戸とその間の障壁層を含む超格子構造を用いる半導体導波路から導波路の外部に出射される回折光を受光できる位置に光検出手段を配置して、例えば、導波路の障壁層に印加される電界を制御することで量子井戸間の結合状態を変化させ、これに伴い屈折率を大きく変化させ、ブラッグ波長を拡大した可変幅で制御して常に光検出手段の所定部分に回折光が入射される様に構成すれば、入射光の波長トラッキングが更に広い波長帯域トラッキング幅において可能となる。この構成では、導波路光損失は増大せず、波長可変時の応答特性が改善される。

【0082】また、本発明では、回折格子付き光導波路と複数の光検出器で構成される光検出装置において、検出器の受光面が導波路に沿う方向に長い検出器を光検出器列の端に、連続的または分離して、配置することにより、迅速な波長チューニングまたは波長多重光信号内からの特定の波長の複数の信号の同時検出などが可能になる。

【0083】また、本発明では、回折格子付き導波路と複数の光検出器で構成される光検出装置において、前記複数の光検出器が導波路に沿う方向に複数列配置されており、かつ導波路方向において、総合的に見て、受光面

が連続していることにより、光検出装置の波長分解能が向上し、より精密な波長トラッキングなどが可能となる。

【0084】また、本発明では、回折格子付き光導波路において、該導波路の一部を光増幅部とすることで、回折光強度を強くすること、及び透過光を著しく減衰させないことが可能となる。また、同一の機能を個別素子の組み合わせで実現する場合に比べて、その製造工程を簡単にし、光損失を抑えている。

【0085】また、本発明では、回折格子を持つ半導体導波路から導波路の外に出射される回折光を受光できる位置に光検出手段を配置して、半導体レーザの波長および/または光出力をモニターし、その信号を半導体レーザにフィードバックすることにより、常に波長および/または光出力を一定に保つことが可能になる。

【0086】また、本発明の光通信ネットワークでは、上記の光検出装置を受信端局に、または上記半導体レーザ用の光検出装置を送信端局に備えることにより、各信号の波長間隔を狭くできるので波長多重度を増した波長多重通信が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を実施した回折格子付き光導波路と光検出手段で構成された光検出装置の第1実施例の全体構成図である。

【図2】第1実施例の波長トラッキング機能を持たせるための構成のブロック図である。

【図3】本発明を実施した回折格子付き光導波路と光検出手段で構成された光検出装置の第2実施例の構成図である。

【図4】本発明を実施した回折格子付き光導波路と光検出手段で構成された光検出装置の第3実施例の半分を示す断面構成図である。

【図5】本発明を実施した回折格子付き光導波路と光検出手段で構成された光検出装置の第4実施例の半分を示す断面構成図である。

【図6】導波路の障壁ポテンシャルが傾斜している例の模式図である。

【図7】導波路の障壁ポテンシャルの傾斜を階段状で構成した例の模式図である。

【図8】導波路の障壁を更に短周期の超格子構造で構成した例のポテンシャルの模式図である。

【図9】本発明を実施した増幅部を有する光検出装置の第5実施例の構成を示す図である。

【図10】本発明を実施した増幅部を有する光検出装置の第6実施例の構成を示す図である。

【図11】本発明を実施した回折格子付き光導波路と光検出手段で構成された光検出装置の第7実施例の全体構成図である。

【図12】波長多重された光信号から同時に特定の2波を検出できる第8実施例の光検出装置を説明する図であ

る。

【図13】本発明を実施した千鳥に配列された光検出器を有する光検出装置の第9実施例の構成図である。

【図14】本発明を実施した波長可変半導体レーザと波長および光出力のモニター部の導波路部分をモノリシックに形成した第10実施例の構成を示す図である。

【図15】第10実施例を制御するための構成を示す制御ブロック図である。

【図16】ファブリペロー半導体レーザとモニター部の導波路部分をモノリシックに形成した第11実施例の構成を示す図である。

【図17】第11実施例を制御するための構成を示す制御ブロック図である。

【図18】本発明による光検出装置を光通信システムに用いた第12実施例を示す図である。

【符号の説明】

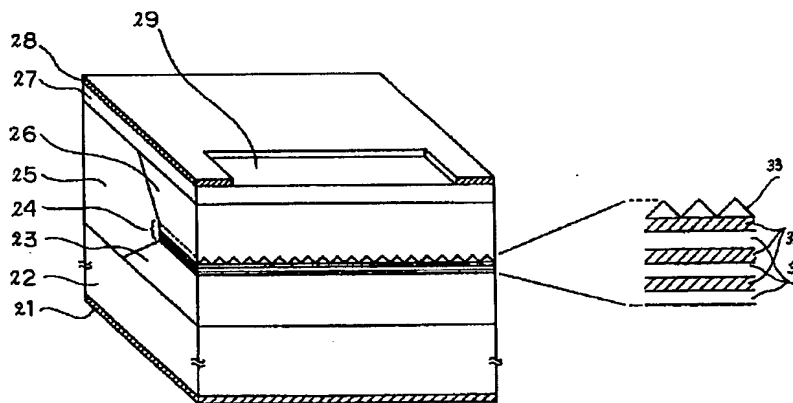
1, 21, 41, 61, 111, 131, 151	n型電極
2, 22, 42, 62, 112, 132, 152	n-GaAs基板
3, 23, 43, 63, 113, 133, 153	下部光閉じ込め層(クラッド層)
4, 64, 114, 134, 154	光導波路層
5, 25, 45, 65, 115, 135, 156	高抵抗埋め込み層
6, 26, 46, 66, 116, 136, 155	上部光閉じ込め層(クラッド層)
7, 27, 47, 67, 117, 137, 157	コンタクト層
8, 28, 48, 68, 158	p型電極
9, 29, 49, 69, 120, 140, 159	回折光出射用窓
11, 121, 141, 160	光検出素子列
12	シリンドリカルレンズ
15	注入
40	電流制御回路
16, 182	比較回路
24, 44	超格子導波路層
31, 51	井戸層
32, 52	障壁層
33, 53, 124, 144	回折格子

71, 75, 81  
 路方向に長い受光面を持つ光検出器  
 72, 73, 74, 82, 83, 84  
 路方向に短い受光面を持つ光検出器  
 91~93, 101~103  
 の光検出器の受光面  
 118, 138  
 幅部p型電極、  
 119, 139  
 格子部p型電極  
 122, 142  
 幅部  
 123, 143  
 格子部  
 125  
 射コーティング  
 146  
 の光増幅部  
 147  
 の光増幅部のp型電極  
 161  
 層  
 162  
 体レーザ部の分布反射器を形成する回折格子  
 163  
 ター部の回折格子

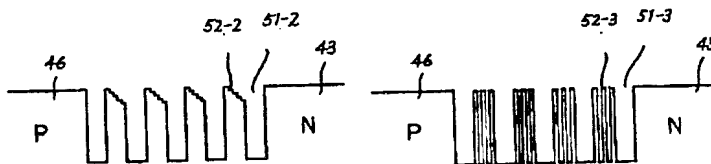
導波 \* 171  
 領域のp型電極  
 導波 172  
 調整領域のp型電極  
 個々 173  
 R領域のp型電極  
 光増 181  
 ター部注入電流制御回路  
 回折 183, 188  
 ザ部注入電流制御回路  
 光増 189  
 チェ制御回路  
 回折 190, 191  
 チェ素子  
 無反 200  
 端局  
 第二 250, 300  
 合流素子  
 第二 400  
 端局  
 20 活性 410  
 出装置  
 半導 420  
 処理部  
 モニ 500  
 \* 送路

活性  
 位相  
 DB  
 モニ  
 レー  
 ヘル  
 ヘル  
 送信  
 分岐  
 受信  
 光検  
 信号  
 光伝

【図4】

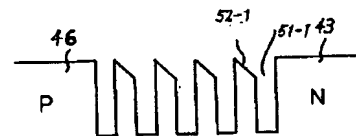


【図7】

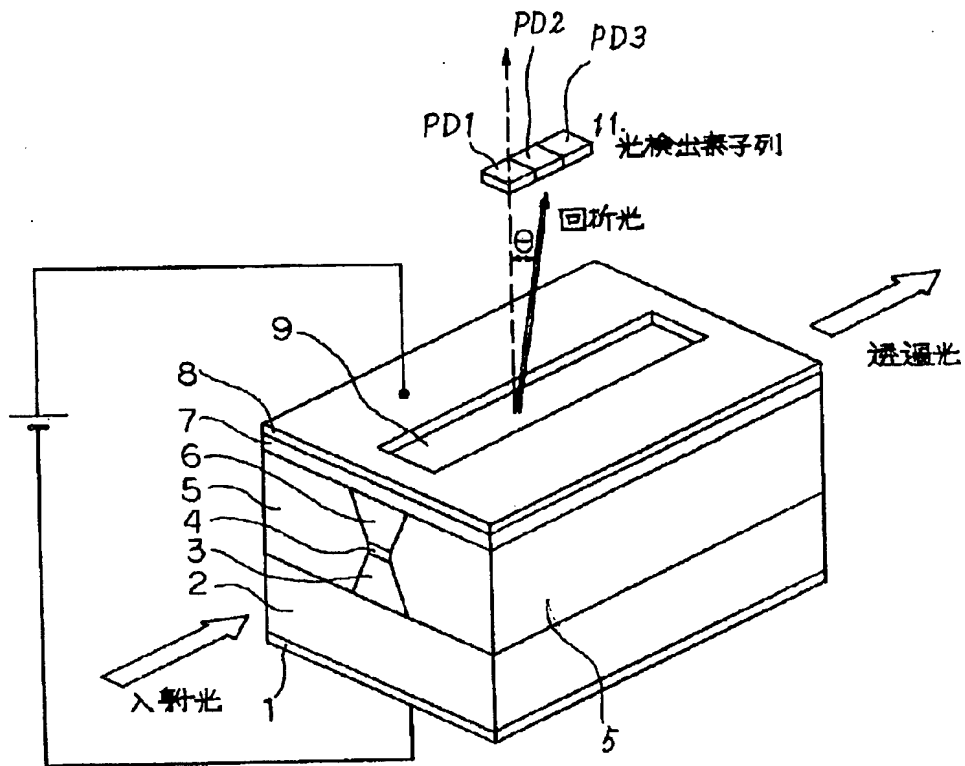


【図8】

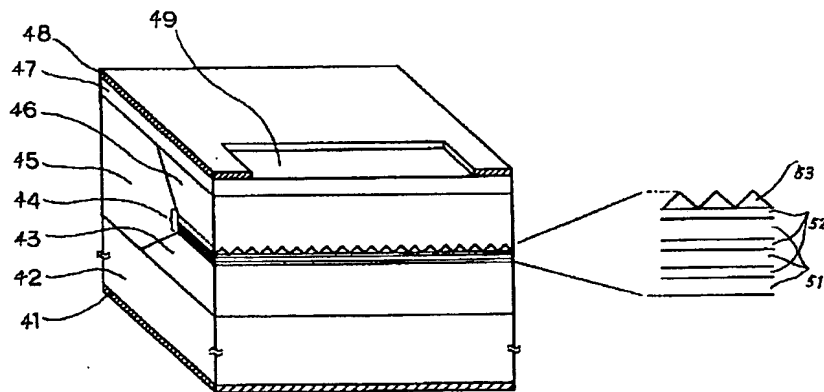
【図6】



【図1】

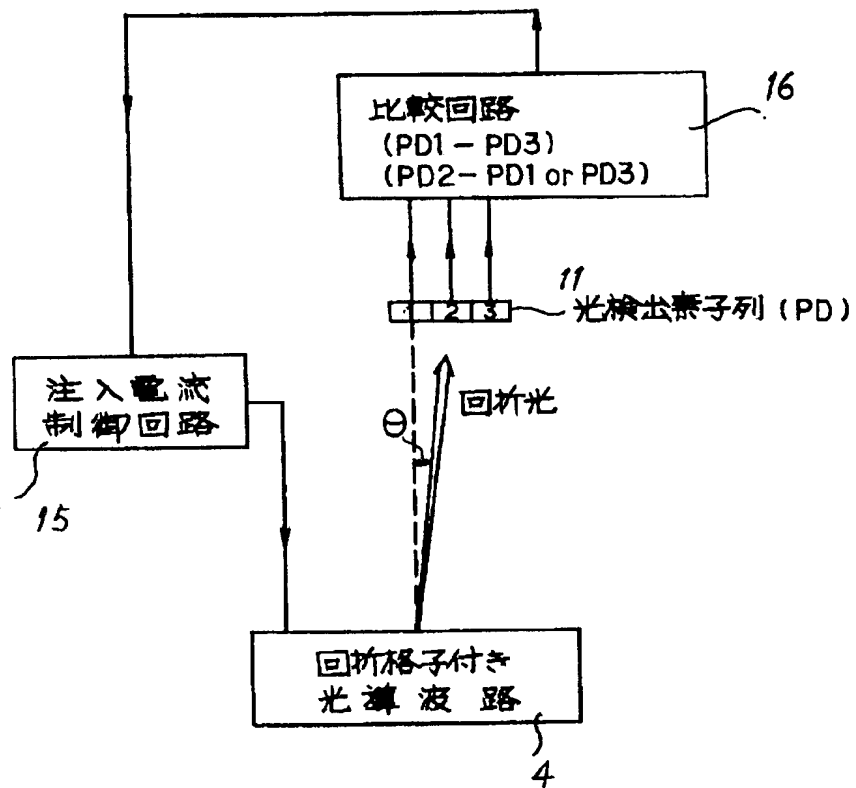


【図5】

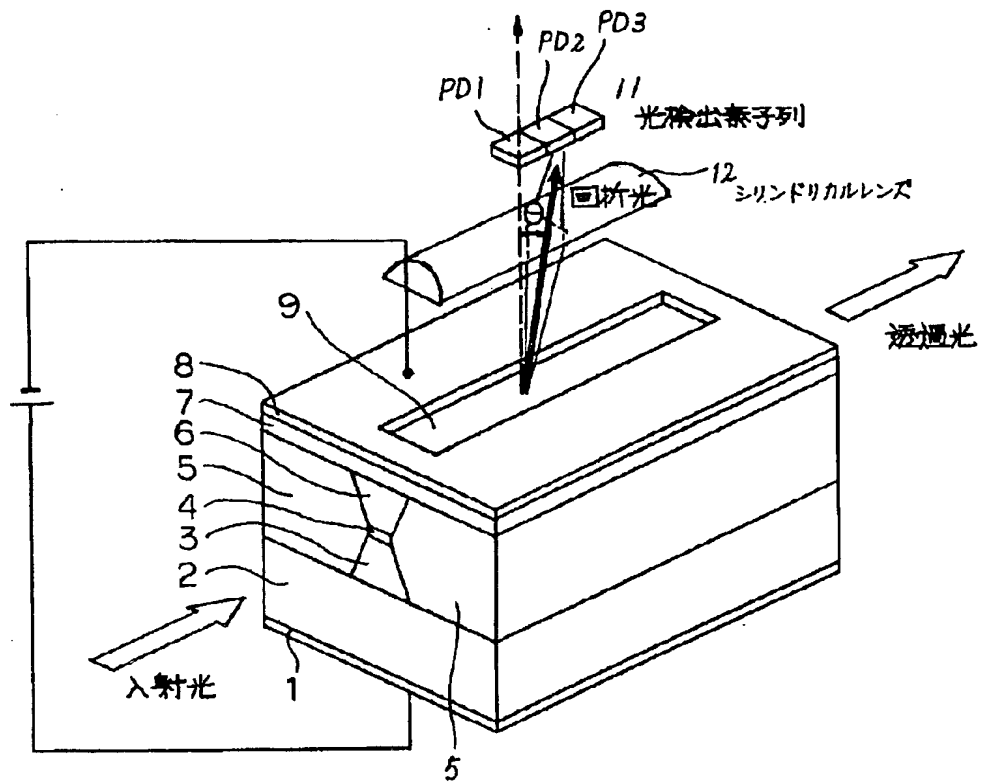


【図2】

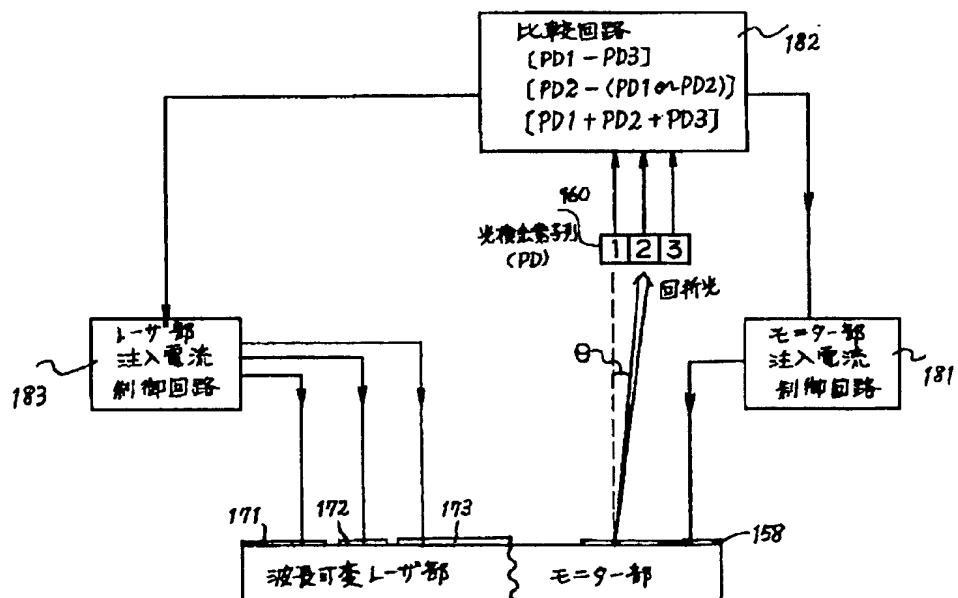
## 光検出装置のブロック図



【図3】

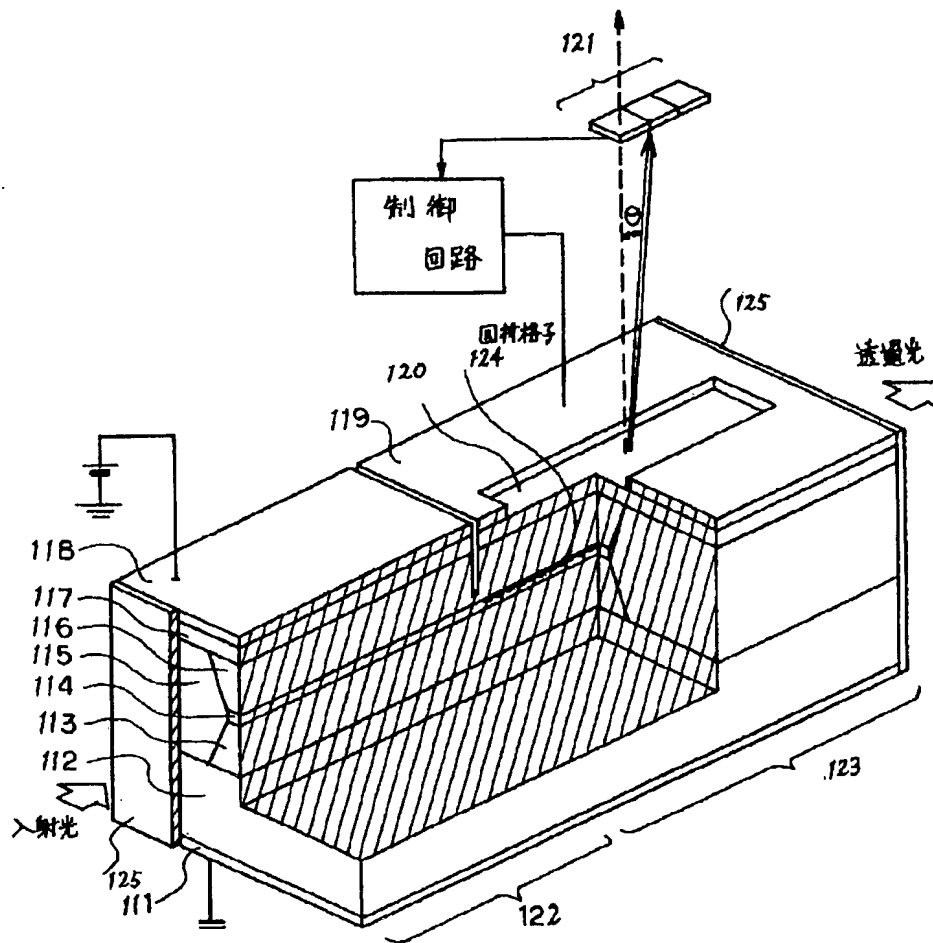


【図15】

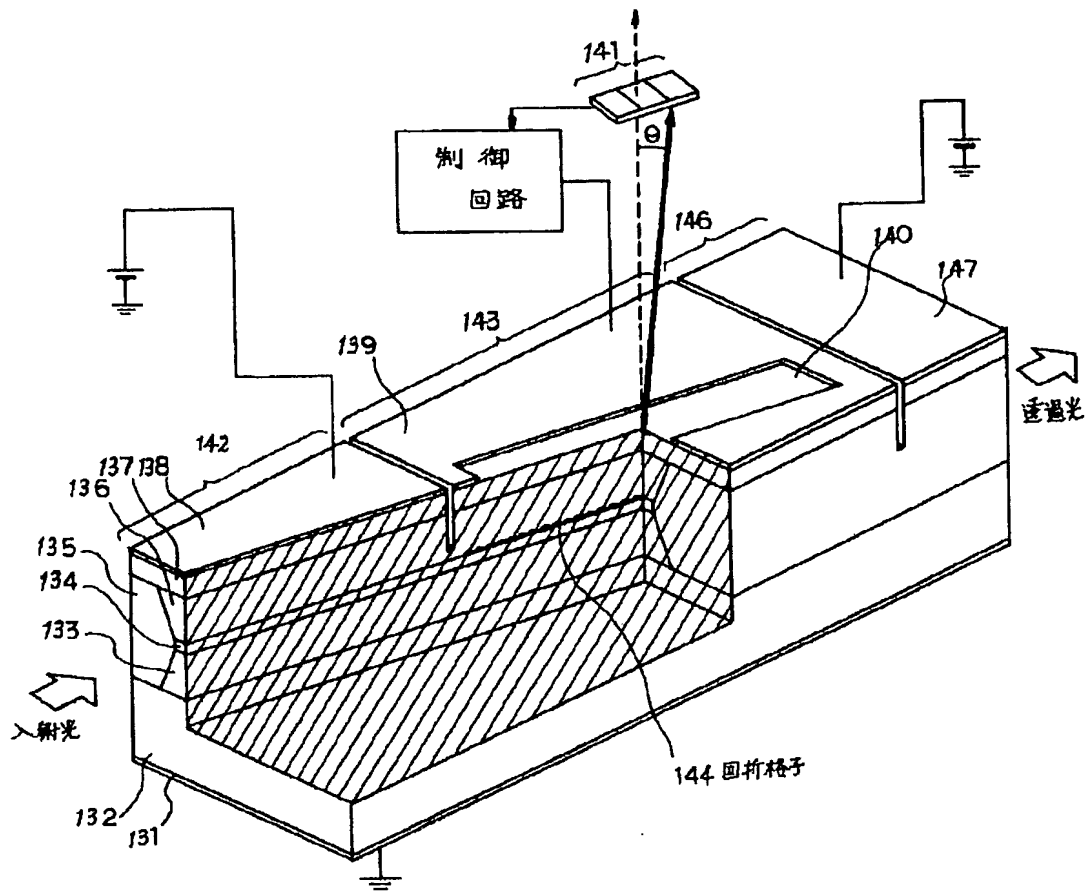




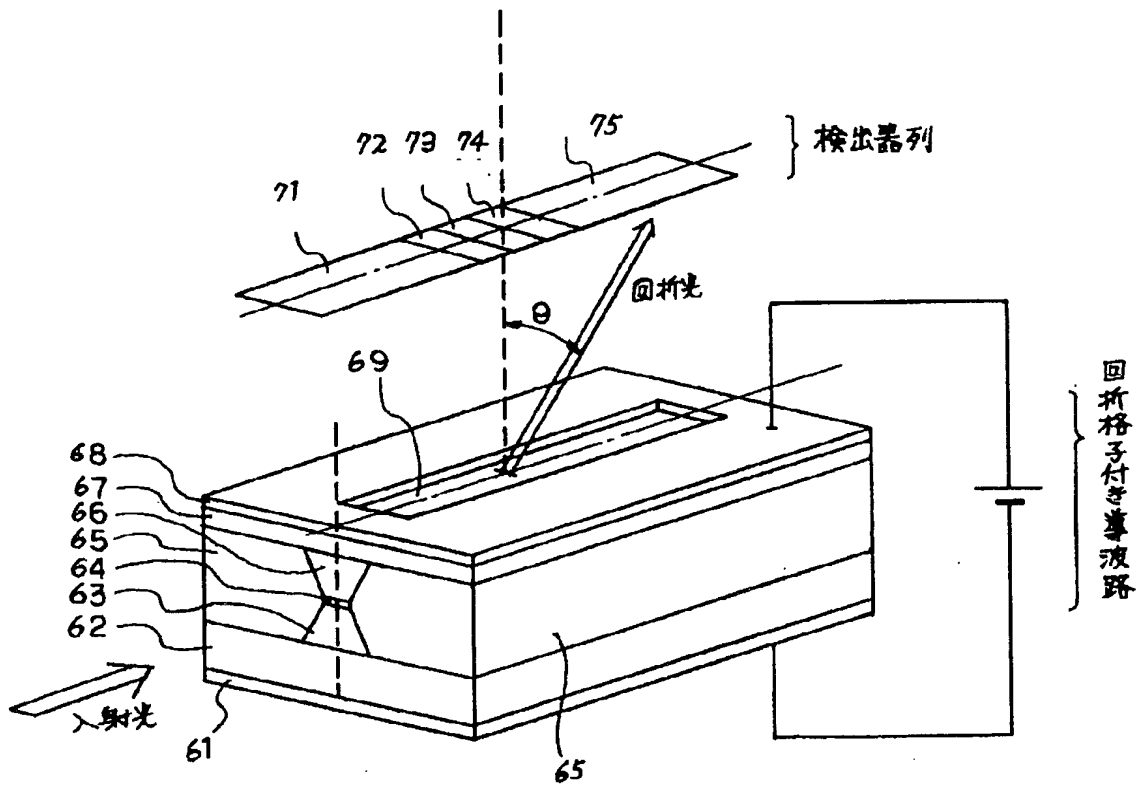
【図9】



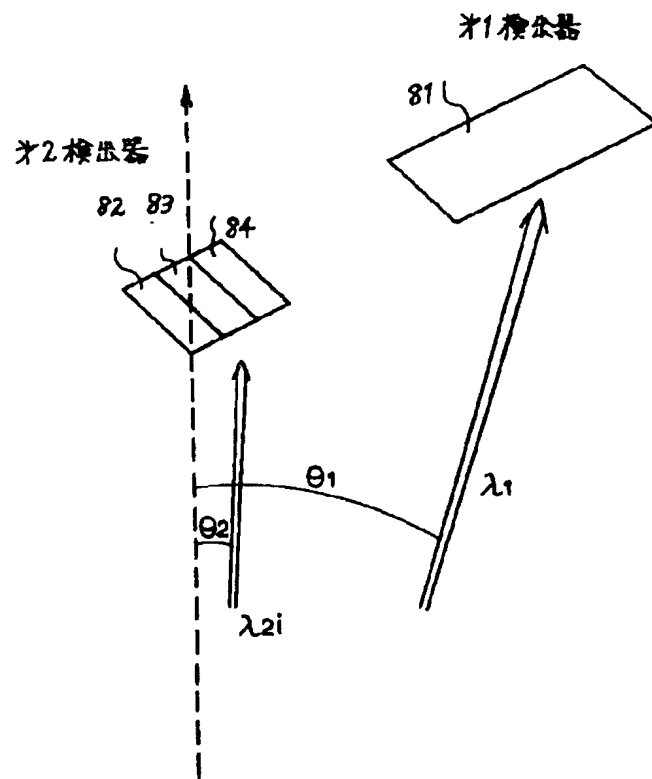
【図10】



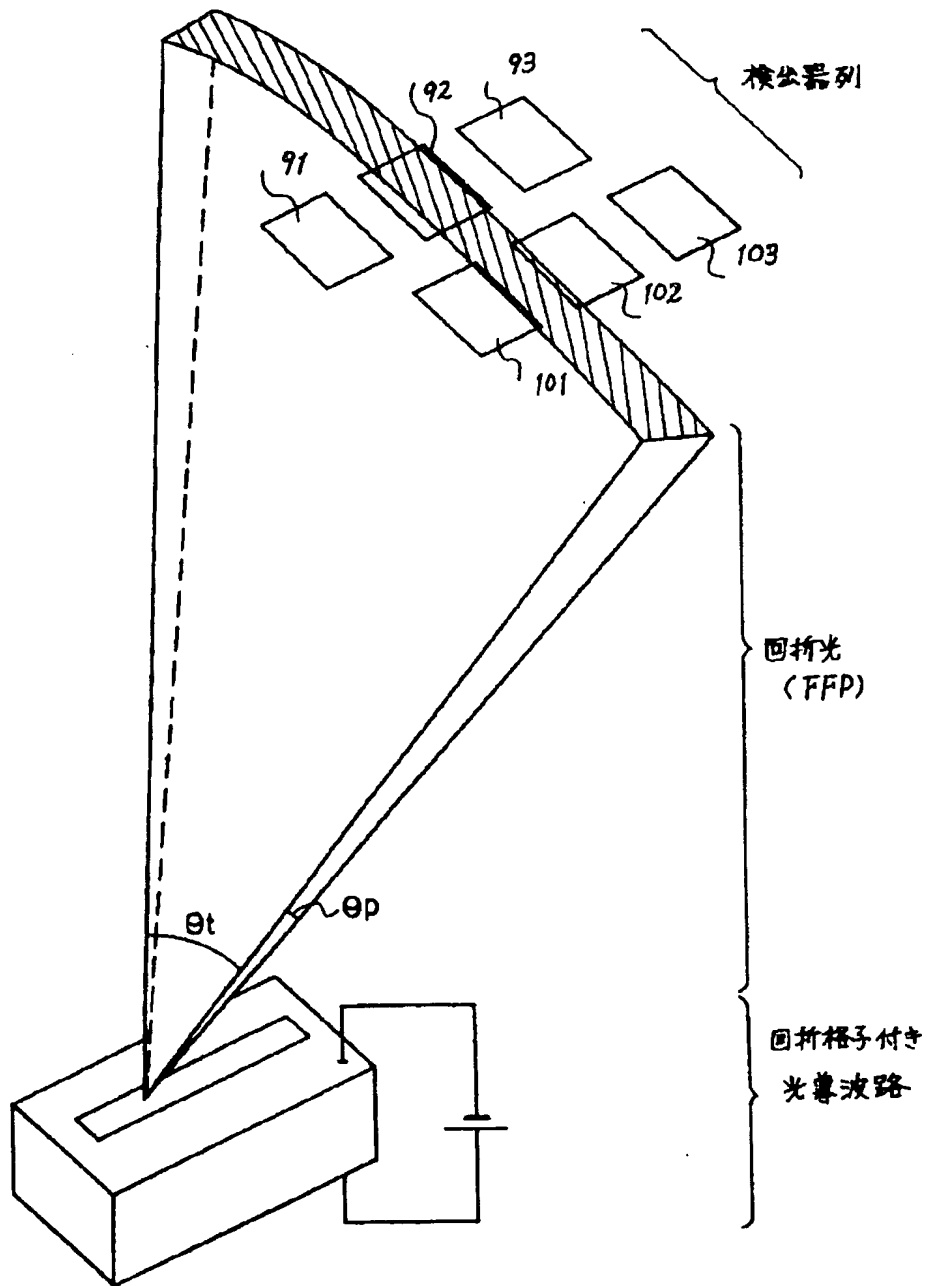
【図11】



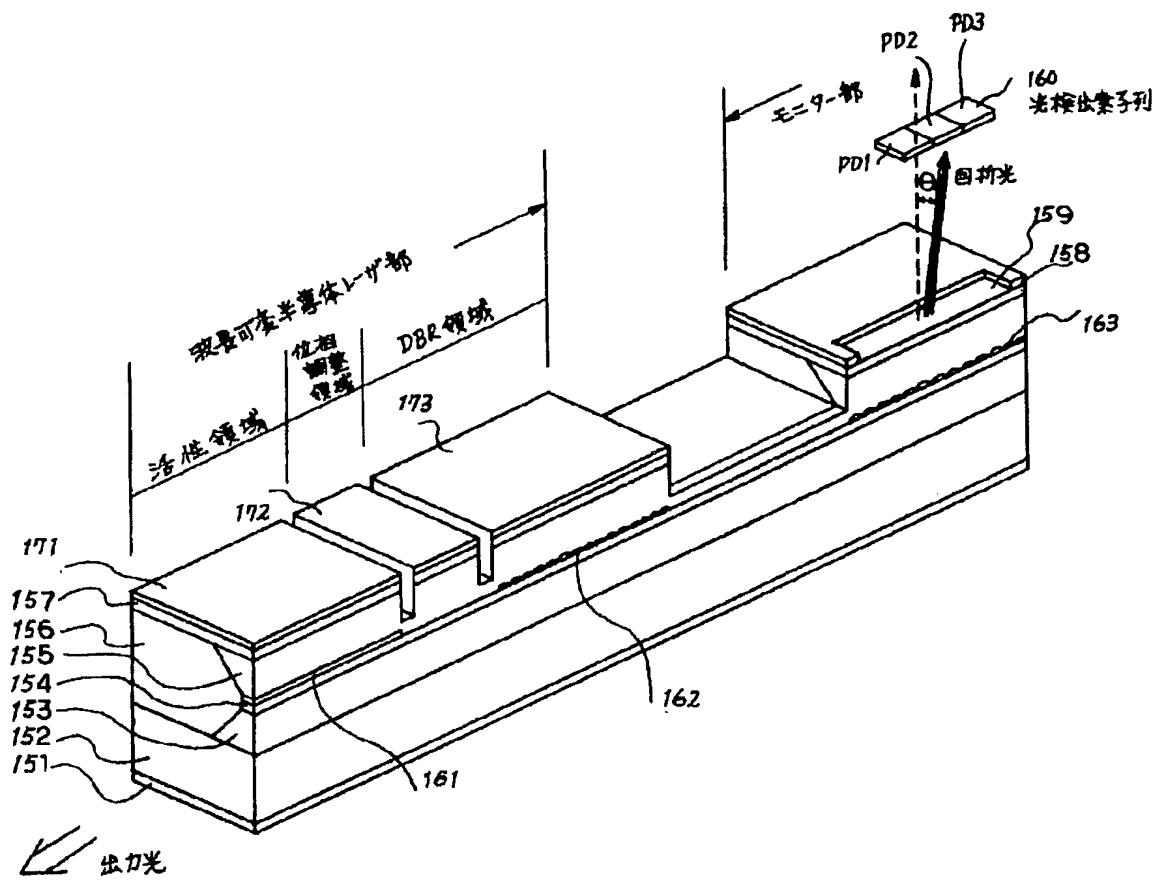
【図12】



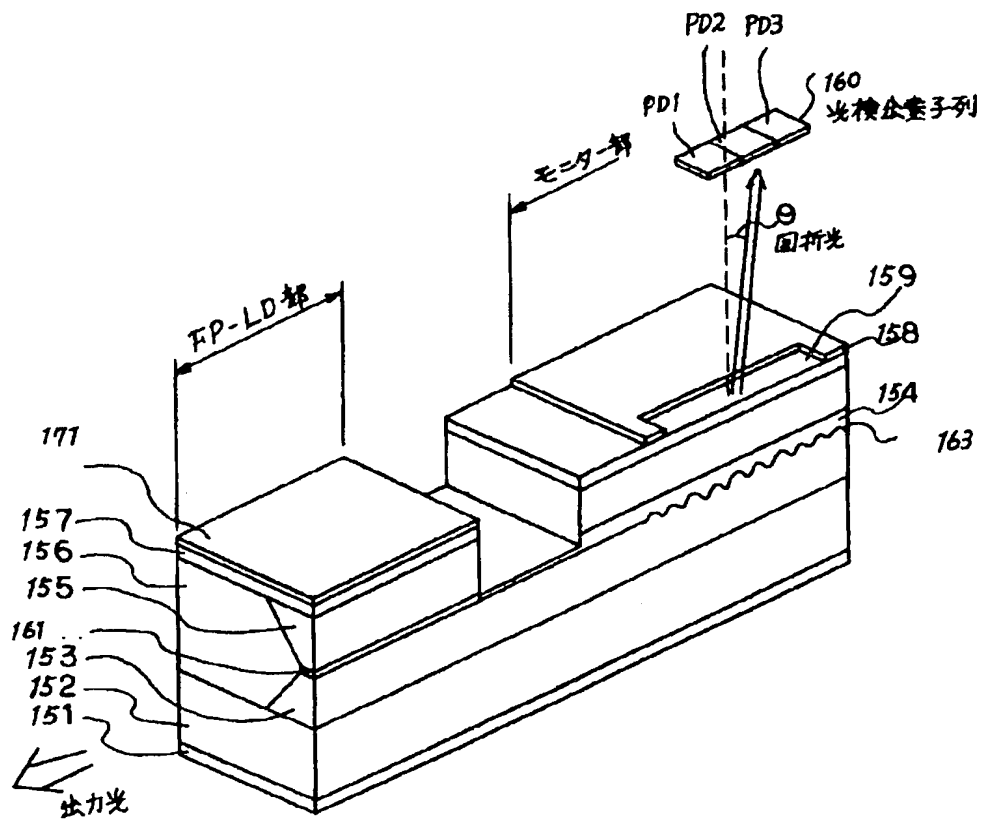
【図13】



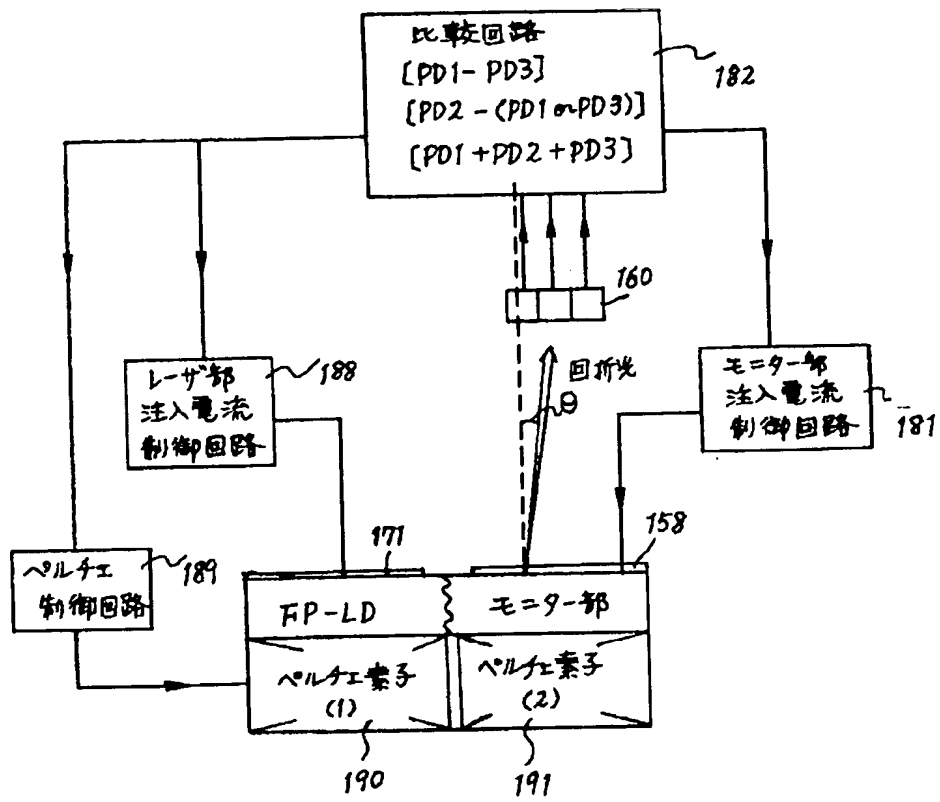
【図14】



【図16】

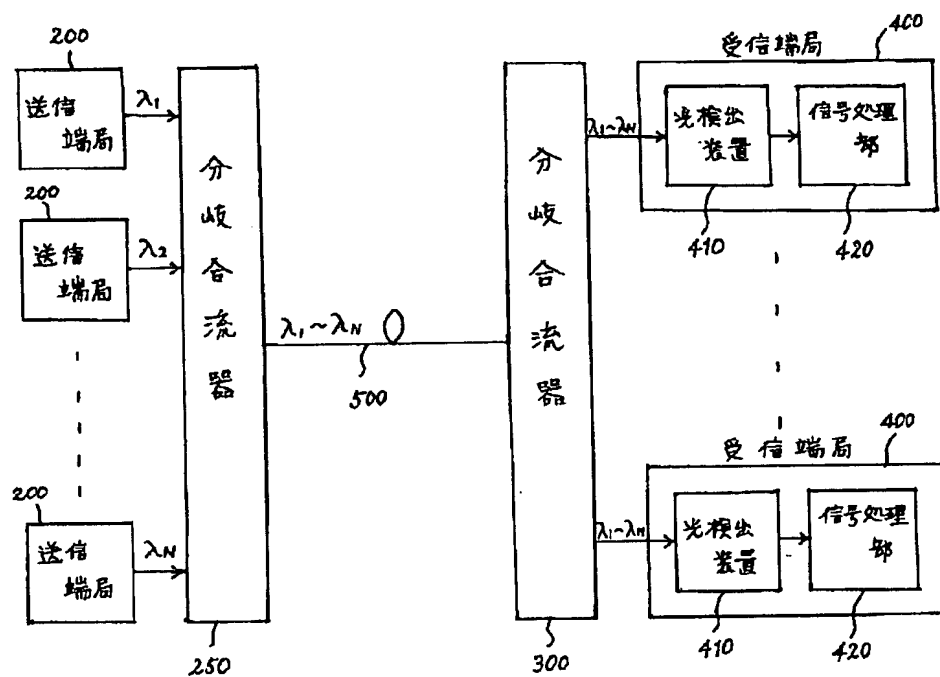


【図17】





【図18】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

H 0 1 L 31/10

H 0 4 B 10/02

H 0 4 J 14/04

識別記号

序内整理番号

F I

技術表示箇所